

УДК 621.7.044

Н. Ф. САВЧЕНКО, С. А. ДИТИНЕНКО, Я. Ю. ДЕМЕНТЕЕВА**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ БЕСПРЕССОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ**

Исследуются особенности беспрессовой импульсной штамповки тонкостенных деталей при появлении в процессе штамповки таких технологических несовершенств, как гофры или бухтины на поверхности полуфабрикатов. Используя зависимости для оценки меридиональных и тангенциальных деформаций, проведена оценка максимальных значений в зависимости от размеров зоны двухосного растяжения. Это позволяет оценить максимально допустимую величину гофров на поверхности полуфабрикатов и возможность искусственного регулирования процесса раздачи полуфабриката. возможную величину степени раздачи при последующей доштамповке полуфабриката. Для повышения качества осесимметричных деталей предложено метод штамповки крупногабаритных изделий с искусственным регулированием технологических несовершенств, например, локальных выштамповок или гофрирования на поверхности полуфабрикатов, регулирования размеров зон пластической устойчивости. Отражены основные особенности оценки технологических параметров. Предложена методика оценки степени деформации на поверхности полуфабриката в зависимости от соотношения размеров глубины штамповки полуфабриката и радиуса зоны двухосного растяжения. Предложенная технология беспрессовой импульсной штамповки позволит снизить опасность возникновения брака и уменьшить разнотолщинность осесимметричных деталей типа днищ.

Ключевые слова: штамповка, гофр, полуфабрикат, раздача, деформация, работа.

Н. Ф. САВЧЕНКО, С. А. ДИТИНЕНКО, Я. Ю. ДЕМЕНТЕЄВА**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ МЕТОДАМИ БЕЗПРЕСОВОГО ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ**

Досліджуються особливості беспрессового імпульсного штампування тонкостінних деталей при появі в процесі штампування таких технологічних недосконалостей, як гофри або бухтини на поверхні напівфабрикатів. Використовуючи залежності для оцінки меридіональних і тангенціальних деформацій, проведена оцінка максимальних значень в залежності від розмірів зони двухосного розтягування. Це дозволяє оцінити максимально допустиму величину гофров на поверхні напівфабрикатів і можливість штучного регулювання процесу роздачі напівфабрикату. можливу величину ступеня роздачі при подальшій доштамповке напівфабрикату. Для підвищення якості вісесиметричних деталей запропоновано метод штампування великогабаритних виробів зі штучним регулюванням технологічних недосконалостей, наприклад, локальних виштамповок або гофрування на поверхні напівфабрикатів, регулювання розмірів зон пластичної стійкості. Відображено основні особливості оцінки технологічних параметрів. Запропоновано методику оцінки ступеня деформації на поверхні напівфабрикату в залежності від співвідношення розмірів глибини штампування напівфабрикату і радіусу зони двухосного розтягування. Запропонована технологія беспрессового імпульсного штампування знизить небезпеку виникнення шлюбу і дозволить зменшити разнотолщинність осесиметричних деталей типу днищ.

Ключові слова: штампування, гофр, напівфабрикат, роздача, деформація, робота/

N. F. SAVCHENKO, S. A. DITINENKO, Y. Yu. DEMENTEYEV**IMPROVING THE QUALITY OF MANUFACTURE OF AXISYMMETRIC PRODUCTS BY METHODS OF A PRESSLESS PULSE STAMPING**

The features of pressureless pulse stamping of thin-walled parts are studied when such technological imperfections as corrugations or coils appear on the surface of semi-finished products during stamping. Using the dependences to assess the meridional and tangential strains, the maximum values are estimated depending on the size of the biaxial tension zone. This allows you to evaluate the maximum allowable value of the corrugations on the surface of the semi-finished products and the possibility of artificially regulating the process of distribution of the semi-finished product. the possible value of the degree of distribution during the subsequent stamping of the semi-finished product. To improve the quality of axisymmetric parts, a method is proposed for stamping large-sized products with artificial regulation of technological imperfections, for example, local stampings or corrugation on the surface of semi-finished products, and regulation of the dimensions of plastic stability zones. The main features of the evaluation of technological parameters are reflected. A technique is proposed for assessing the degree of deformation on the surface of a semifinished product, depending on the ratio of the sizes of the stamping depth of the semifinished product and the radius of the biaxial tension zone. The proposed technology of pulseless stamping to reduce the risk of marriage and reduce the thickness difference of axisymmetric parts such as bottoms.

Keywords: stamping, corrugation, semi-finished product, distribution, deformation, work.

Введение. Снижение темпов внедрения новых технологий приводит к негативным процессам в современной экономике и снижению конкурентоспособности продукции отечественных товаропроизводителей. Поэтому важнейшими задачами, стоящими перед технологией машиностроения, являются не только снижение непроизводительных затрат, обусловленных снижением точности изготовления деталей штамповкой, но и улучшение эксплуатационных и прочностных свойств изделий, повышение их точности и качества [1–7].

Поиск эффективных методов интенсификации технологических процессов штамповки затрудняется из-за проблем повышение качества и точности заготовок, возникающих преимущественно из-за отсутствия методов предупреждения потери

пластической устойчивости – появления недопустимых по величине гофров или бухтин на поверхности деталей, локальным утонением стенок.

В известных исследованиях имеющиеся решения ограничены при приемочном контроле нормативными требованиями к листовым заготовкам (например, дефекты (царапины, трещины) или разнотолщинность плоских листовых заготовок для штамповки-вытяжки или формовки) [2–5] и не учитывают, как правило, особенности формообразования изделий из полуфабрикатов.

Анализ последних исследований и публикаций. Однако известные методы интенсификации штамповки-вытяжки, формовки

[1–3] не всегда эффективны не только по технико-экономическим соображениям (отсутствие или физический износ имеющегося оборудования, высокая стоимость нового или большие эксплуатационные издержки при ремонте, хранении и т. д.). При проектировании технологии штамповки с раздачей полуфабриката учитывается:

1) гибкость λ (отношение диаметра или условного размера детали к толщине заготовки) или относительная толщина детали;

2) относительная глубина штамповки \bar{f} , определяемую отношением глубины (высоты) детали к ее диаметру или условному размеру;

3) механические характеристики материала (пределы прочности, текучести, относительное удлинение);

4) требования к качеству изделий, определяемые величиной утонений, наличием и размерами гофров на поверхности и отклонениями от норм, допустимыми по техническим условиям.

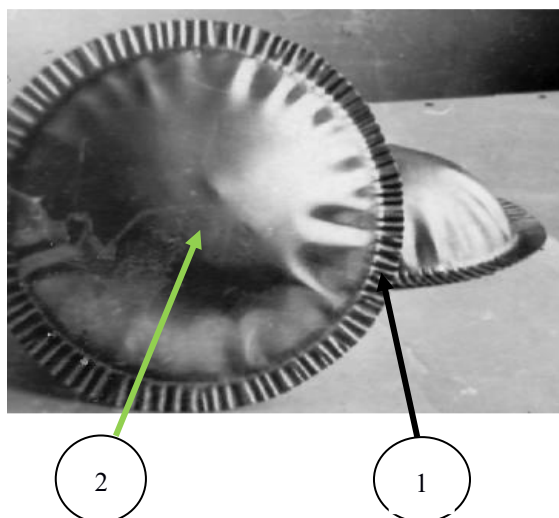


Рис. 1 – Типичные дефекты в виде гофров, возникающих в сжато-растянутых участках заготовки при изготовлении деталей большой гибкости $\lambda > 200$: 1 – гофры на фланцевой части заготовки; 2 – зона локальных, с последующим разрушением, утонений.

Неблагоприятное влияние дефектов особенно очевидно при анализе пространственной диаграммы (рис. 2), характеризующей изменения деформированного состояния деталей при увеличении λ . Пространственная диаграмма составлена по известным экспериментальным данным о характере распределения деформаций на стенках изделий, близких по форме к полусфере [1–4].

При этом характерные типы дефектов могут быть проиллюстрированы (рис. 1) как в виде появляющиеся в сжато-растянутых зонах заготовки гофров или в виде локальных зон утонений в купольной части изделия.

Гофры на поверхности полуфабриката и на фланце (рис. 1) отличаются по размерам, геометрии,

количеству. В основном гофры на поверхности полуфабриката возникают в виде четырех асимметричных групп. Эти группы, каждая в отдельности, могут включать один большой гофр, реже – два-три сомкнувшихся в виде волнистой поверхности гофров. К группам больших гофров примыкают меньшие по геометрическим размерам гофры. Гофры на поверхности полуфабриката в плане имеют ромбовидную форму. Вершины ромбического гофра направлены к зонам двухосного и одноосного растяжения.

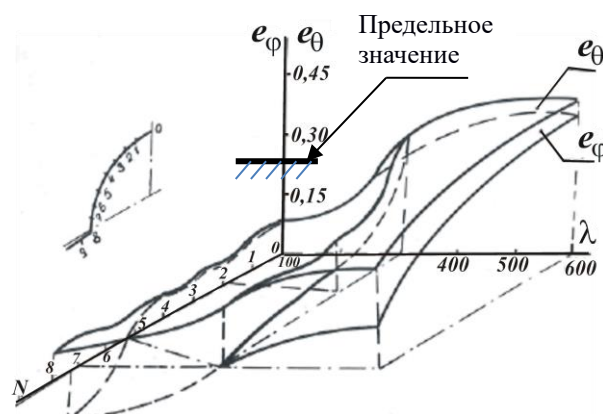


Рис. 2. – Изменение деформированного состояния деталей при увеличении гибкости λ

Поэтому проблемы управления качеством как заготовок, так и полуфабрикатов, влияющие на точность и разнотолщинность стенок деталей приобретают важное значение.

Цель работы – повышение эффективности управления процессом формообразования штамповкой-вытяжкой тонколистовых деталей сложной формы на различных стадиях их формоизменения (а не только на конечных) путем прогнозирования условий потери пластической устойчивости в виде гофров на поверхности и возникновения локальных утонений.

Изложение основного материала. Для устранения брака из-за потери пластической устойчивости и обеспечения повышенных требований к точности при импульсных методах штамповки листовых (например, при газодетонационной штамповке) и пространственных заготовок следует предусмотреть максимально широкий спектр приемов управления напряженно-деформированным состоянием [2–5].

С этой целью при определении технологических параметров импульсной штамповки следует учитывать, как общие, так и принципиальные отличия механизмов формообразования тонкостенных изделий методами высокоскоростной (импульсной, например, гидровзрывная, электрогидравлическая и др.) и статической (традиционные способы изготовления изделий на прессах, молотах и др.) штамповки.

Общие особенности проявляются в необходимости использования прижимных устройств и удаления из полости матрицы воздуха, искусственного предупреждения или регулирования возникновения гофров в сжато-растянутых зонах заготовки.

Принципиальных отличий может быть значительно больше, так как следует учесть кратковременность процесса формообразования (менее 0,001...0,01 с), волновые эффекты, проявляющиеся в изменении формы образующей детали (конусность и локальные утонения стенок) и даже в просечке изделия в зоне радиуса закругления матрицы из-за «независимого» деформирования разнородных участков заготовки, причем более жестких в периферийных, фланцевых зонах.

Неблагоприятное влияние дефектов особенно очевидно при анализе пространственной диаграммы (рис. 1), характеризующей изменения деформированного состояния деталей при увеличении λ . Пространственная диаграмма составлена по известным экспериментальным данным о характере на стенках изделий, близких по форме к полусфере [1–4].

Из диаграммы можно установить, что ухудшение качества деталей (из-за локальных утонений) обусловлено изменением по сравнению с областью $\lambda < 200$ условий распределения тангенциальных деформаций e_ϕ – в периферийных зонах (точки 5...9) изделий. В периферийной зоне при $\lambda > 200$ тангенциальные деформации близки к нулю или из сжимающих (при $\lambda < 200$) становятся растягивающими, способствующими возникновению локальных утонений. Неблагоприятный характер распределения деформаций при $\lambda > 200$ обусловлен возникновением гофров в сжато-растянутых (периферийных) участках заготовки (рис. 2). В результате этого невозможно (или весьма трудоемко) изготовление штамповкой в условиях плоского напряженного состояния изделий с $\lambda > 200$ и $\bar{f} < 0,2$.

С повышением точностных требований к деталям технологические проблемы еще более возрастают из-за увеличения вероятности возникновения гофров, в то время как допуск на их величину весьма мал – меньше, чем на отклонение по диаметру.

Одним из путей решения проблем повышения качества штампуемых изделий типа днищ, параболических антенн и других крупногабаритных тонкостенных деталей может быть способ штамповки с раздачей полуфабриката, получаемого на первом–втором штамповочном переходах.

Можно считать, что на поверхности полуфабриката имеются две зоны (купольная и периферийная), граница которых определяется радиусом $r_{др}$. В купольной зоне возникает напряженное состояние, близкое к двухосному растяжению, а в периферийной – растяжению–сжатию. Поэтому проведем оценку размеров зоны

двухосного растяжения, за пределами которой возможно появление гофров (с вероятностью 99 %).

В исходном состоянии деформированное состояние полуфабриката с погрешностью [3], не превышающей 5%, может быть определено как

$$e_\phi = \frac{1}{2} \left(\frac{f_n}{r_{др}} \right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{r_{др}} \right)^2 \right] \quad , \quad (1)$$

$$e_\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{f_n}{r_{др}} \right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{r_{др}} \right)^2 \right] \quad . \quad (2)$$

Максимальные размеры зоны двухосного растяжения полуфабриката можно определить, задавая ее радиусом сферического сегмента:

$$r_{др} = R \cdot \sin \alpha_{др} \quad , \quad (3)$$

а максимально допустимое значение $\alpha_{др}$ [3]:

$$\alpha_{др} \leq \frac{\pi}{6} \cdot \frac{\left(1 + \frac{\sigma_s}{E} \right)}{\left(1 + \frac{2}{3} e_\theta \right)} \quad (4)$$

Полученные зависимости (3–4) позволяют определить размеры сжато-растянутых, опасных в смысле возникновения гофров, зон заготовки – как разность между радиусами деталей и зоны двухосного растяжения $\Delta r = r_0 - r_{др}$, а также по уравнению (2) величину тангенциальной деформации e_ϕ .

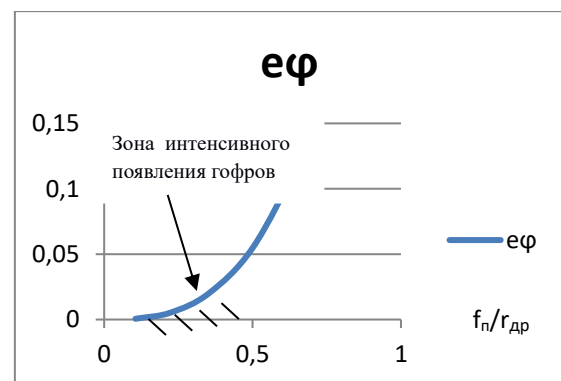


Рис. 3 – Изменение величины тангенциальной деформации e_ϕ от глубины и размеров зоны двухосного растяжения

Из графика можно видеть, что уже при сравнительно небольшой относительной глубине штамповки 5...10 % появление гофров на поверхности тонкостенных изделий с большой гибкостью ($\lambda \geq 200$) практически неизбежно, даже при формовке с жестко зашпеленным фланцем. Для предупреждения возникновения неисправимого брака из-за неравномерной утяжки фланца проведенные эксперименты выявили необходимость при формоизменении искусственное увеличение размеров фланца заготовки. При этом установлено,

что относительный параметр $\frac{\Delta r}{r_0}$, учитывающий

увеличение размеров заготовки при малых степенях вытяжки ($k < 1,2 \dots 1,35$) с целью предупреждения неравномерной утяжки фланца заготовки может на 15...20% быть меньше, чем для традиционных методов беспрессовой штамповки. Его значение не превышает $\frac{\Delta r}{r_0} \leq 0,15$ площади заготовки, что значительно меньше, чем для традиционных методов.

При проектировании технологического процесса штамповки с последующей раздачей полуфабриката можно использовать условие, сформулированное из энергетических соображений:

$$W_{дч} \leq W_{пз}, \quad (5)$$

где $W_{дч}$, $W_{пз}$ – работа пластической деформации соответственно купольной (донной, “несущей”) и периферийной (фланцевой) зон штампуемой заготовки.



Рис.4 – Детали, отштампованные методом штамповки-раздачи: а – диаметром 700 и 900 мм и б – опытные образцы

Работа пластической деформации в общем случае может быть оценена как [3–5]:

$$W = \xi(n) \sigma_b V_o l_i^{1+n}, \quad (5)$$

где $\xi(n)$, n – коэффициенты, зависящие от механических характеристик материала заготовки, $\xi(n) = 1,55$; $n \approx 0,10 \dots 0,65$; V_o – объем плоской заготовки (или ее части); для донной части осесимметричной заготовки: $V_{одч} = 0,785 \cdot \pi d^2$; для сопрягающейся с ней периферийной, фланцевой, части: $V_{отпз} = 0,785 \cdot \pi d^2 (k^2 - 1)$; k – степень вытяжки, определяемая отношением диаметра заготовки к диаметру детали (отверстия матрицы); l_i – средняя интенсивность деформации соответствующего участка заготовки (фланца или донной части).

По технологической сложности детали с $\lambda > 200$ можно разбить на четыре группы (по относительной глубине \bar{f}):

$$\bar{f} < 0,2, \bar{f} > 0,2, \bar{f} \leq 0,4 \text{ и } \bar{f} > 0,4.$$

Дополнительным преимуществом разработанного метода можно считать и возможности использования при интенсификации процесса вытяжки методов искусственного регулирования размеров зон деформации [5–6], такие как увеличение радиуса протяжного ребра, снижение утонений купольной зоны заготовки (опасное сечение). Выбор основных технологических

параметров штамповки может производиться в соответствии с рекомендациями, приведенными в [4–6].

Допустимая относительная высота гофров:

$$\bar{h} = [0,3 \exp 2e_\phi - 0,25]^{0,5} \quad (6)$$

где k_r – степень раздачи, определяемая, как отношение диаметра детали и полуфабриката:

$$k_r = \frac{d_0}{d_n} \approx 1,05 \dots 1,1$$

Проведенные исследования позволили использовать их результаты для разработки штамповки с раздачей полуфабриката, реализованного при штамповке как моделей, так и натуральных изделий (рис. 4). При этом максимальные значения утонений не превышали допустимы значения (20%).

Выводы. Таким образом, разработан и может быть рекомендован для штамповки тонкостенных изделий (с гибкостью более 200) метод штамповки с искусственным регулированием зон двухосного растяжения. При этом определены рациональные размеры полуфабриката, на 5...10%, меньшие размеров детали по диаметру. Как дальнейшая задача предполагается исследование особенностей штамповки изделий с формой в плане, отличной от осесимметричной.

Список литературы:

1. Кириченко Л.Р. Конкурентоспособность технологий импульсной обработки материалов. / Л.Р. Кириченко // Авиационно-космическая техника и технология: научно-технический журнал – Х.: ХАИ, 2007. Вып. 11 (47). – С. 240–244.
2. Богуслаев В. А. Штамповка листовых деталей взрывом на ОАО «Мотор-Сич» / В.А. Богуслаев, О.И. Гавриш, С.А. Стадник // Авиационно-космическая техника и технология: научно-технический журнал – Х.: ХАИ, 2007. – Вып. 11 (47). – С. 192–196.
3. Баранов М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности. / М.И. Баранов // Электротехника і електромеханіка. – 2009. – №1. – С. 42–54.
4. Селиванов В.В. Взрывные технологии: учебник для вузов / В.В. Селиванов, И.Ф. Кобылкин, С.А. Новиков. – 2-е изд., – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 519 с.
5. Технологичность конструкции изделия / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
6. Савченко Н.Ф. О проектировании техпроцессов гидровзрывной тонколистовой штамповки-вытяжки крупногабаритных деталей типа днищ / Н.Ф. Савченко // Импульсная обработка металлов давлением: сб. статей под ред. канд. техн. наук В.К. Борисевича. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 51–56.
7. Савченко Н.Ф. Изготовление крупногабаритных деталей емкостей и резервуаров / Н.Ф. Савченко // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин». – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 18. – С. 179–183.
8. Кириченко Л.Р. Научная школа профессора ПИХТОВНИКОВА РОСТИСЛАВА ВЯЧЕСЛАВОВИЧА / Л.Р. Кириченко, В.К. Борисевич, Н.Ф. Савченко // Физические и компьютерные технологии: труды 13-й Междунар. научно-техн. конф., 19–20 апреля 2007, г. Харьков. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2007. – С. 271–276.

References (transliterated)

1. Kirichenko L.R. The competitiveness of pulsed materials processing technologies. / L.R. Kirichenko // Aerospace Engineering and Technology: Scientific and Technical Journal – KHarkov: KhAI, 2007. Issue. 11 (47). – P. 240–244.
2. Boguslaev V. A. Stamping of sheet metal parts by an explosion at OJSC Motor Sich / V. A. Boguslaev, O.I. Gavrish, S.A. Stadnik // Aerospace engineering and technology: scientific and technical journal – KHarkov.: KhAI, 2007. – Issue. 11 (47). – P. 192–196.
3. Baranov M.I. Progressive pulsed materials processing technologies: history, physical foundations and technical capabilities. / M.I. Baranov // Electrical engineering and electrical engineering. – 2009. – No. 1. – P. 42–54.
4. Selivanov V.V. Explosive technologies: a textbook for high schools / V.V. Selivanov, I.F. Kobylkin, S.A. Novikov. – 2nd ed., – Moscow: Publishing house of MGTU im. N.E. Bauman, 2014. – 519 p.
5. Manufacturability of product design / Yu.D. Amirov, T.K. Alferova, P.N. Volkov et al. – Moscow: Mechanical Engineering, 1990. – 768 p.
6. Sukhov VV Experience in creating gas-explosive systems with multipoint initiation of detonation of a methane-oxygen mixture / V.V. Sukhov // Aerospace Engineering and Technology: Scientific and Technical Journal. – KHarkov: KhAI, 2007. – Issue. 11 (47). – P. 182–185.
7. Savchenko N.F. Manufacture of large-sized parts of tanks and reservoirs / N.F. Savchenko // News of the Kharkiv Sovereign Technological University of Silesia. "Predvysennyi nadinosti v_dnovlyuemih machine parts." – Kharkov: KhDTUSG, 2003. – Vyp. 18. – P. 179–183.
8. Savchenko M.F. Pristry for detonation gas stamping. – Patent of Ukraine №72357, 02.15.2005 p.
9. Kirichenko L.R. Scientific School of Professor Pikhtovnikov Rostislav Vyacheslavovich / L.R. Kirichenko, V.K. Borisevich, N.F. Savchenko // Physical and computer technologies: proceedings of the 13th Intern. scientific and technical Conf., April 19–20, 2007, Kharkov. – Kharkov: KhNPK "FED", 2007. – P. 271–276.

Поступила (received) 01.12.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Савченко Микола Федорович (Савченко Николай Федорович, Savchenko Mikola) – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Природоохоронні технології, екологія та безпека життєдіяльності» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, м. Харків; тел.: (0572) 69-55-62; e-mail: savchenko.n.f@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9352-3112>.

Дитиненко Станіслав Олександрович (Дитиненко Станислав Александрович, Ditinenko Stanislav) – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Природоохоронні технології, екологія та безпека життєдіяльності» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, м. Харків; тел.: +38-0678924575; e-mail: fokusnic1@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5382-2276>.

Дементєєва Яна Юрійвна (Дементеева Яна Юрьевна, Dementeyeva Yana) – інженер кафедри «Природоохоронні технології, екологія та безпека життєдіяльності» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, м. Харків; тел.: (093) 14-10-164; e-mail: dementeeva@gmail.com.